

磁粉探伤机新型磁化装置设计及智能化控制研究

李家荣¹, 张子睿²

(1. 盐城工学院 电气工程学院, 江苏 盐城 224051;
2. 桂林电子科技大学 国防生学院, 广西 桂林 541004)

摘要:针对铁路和风电行业中大量大齿圈工件尺寸较大、其周向和径向不能同时进行磁化探伤、工件探伤率受到限制和影响的状况,设计了适用于大齿圈工件磁粉探伤机的新型磁化装置。该装置基于 PLC 的磁粉探伤控制系统和图像自动识别系统,采用开合式闭路磁轭和开合式矩形线圈的结构,磁化检测时将开合式闭路磁轭和开合式矩形线圈围绕在大齿圈工件单边齿圈的周围,使大齿圈同时产生同向、径向、轴向等多方向的磁场;喷洒荧光磁粉悬液的工件表面在磁场的作用下,磁粉被吸附在漏磁场处形成磁痕,荧光磁粉在紫外光照射下发射出荧光;用高像素全帧 CCD 摄像机对荧光进行摄像,并将荧光磁粉图像转换为视频电子信号,再通过信号采集卡将视频信号转换为计算机能处理的数字图像信号,从而完成工件表面缺陷生成磁痕的自动检测。智能磁粉探伤样机的测试表明,该新型磁化装置可实现同时对大齿圈工件的周向、径向和轴向进行全方位的多向磁化,工件无磁化盲区,检测精度高。

关键词:大齿圈;磁化装置;磁粉探伤

中图分类号:TP273 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2018)04-0006-05

目前对机械加工与制造行业零部件的探伤通常采用磁粉探伤、超声波探伤和渗透探伤,其中对铁路和风电行业的设备检测通常采用磁粉探伤。磁粉探伤操作简便、显示直观、速度快,具有很高的检测灵敏度,但对大工件设备的探伤检测具有一定的难度^[1-3]。在铁路和风电行业的设备中,存在大量的大齿圈工件,大齿圈工件的内、外径和长度一般在 1 000/1 400/170 mm 以上,其周向和径向很难同时进行磁化探伤,使工件的探伤率受到了限制和影响。目前,对于大齿圈工件的周向磁化,主要采用穿棒法和电缆缠绕法;对于大齿圈工件的纵向磁化,主要采用线圈法或极间磁轭法。上述几种方法,虽都可实现工件磁化,但都是单项磁化,特别是不能同时对大齿圈工件的周向、径向和轴向进行全方位的多向磁化,工件存在磁化盲区^[4-5]。

1 新型磁化装置

设计的适用于大齿圈工件磁粉探伤机的磁化装置,主要由开合式闭路磁轭和开合式矩形线圈组成,其结构示意图如图 1 所示。开合式闭路磁轭由“一”形磁轭和“U”形磁轭组成,“一”形磁轭通过滑块和导轨支撑于机架上,并由气缸驱动,实现与“U”形磁轭的开合(“U”形磁轭上设有激励线圈);开合式矩形线圈由“一”形导体和“U”形导体构成,两者之间通过锥形触头相啮合。“U”形导体固定在“一”形磁轭上,并可随“一”形磁轭一起运动,实现与“一”形导体的开合。该装置的优点是:将开合式闭路磁轭和开合式矩形线圈围绕在大齿圈工件单边齿圈的周围,使大齿圈同时产生周向、径向、轴向等多方向的磁场,且磁场分布均匀、无盲区,因而磁化效果好、检测精度高。

收稿日期:2018-05-31

基金项目:江苏省产学研基金资助项目(BY2016065-30);江苏省“六大人才高峰”高层次人才选拔培养(2014-DZXX-039)

作者简介:李家荣(1970—),女,江苏赣榆人,副教授,硕士,主要研究方向为电气控制。

检测时,开合式矩形线圈的接线端子分别与磁化电源的 A、B 相相连,开合式闭路磁轭的初级激励线圈端子接磁化电源的 B、C 两相或 A、C 两相。当开合式矩形线圈通入周向磁化电流时,该磁化电流在工件上产生沿圆周方向上的磁力线(周向磁场),可发现与工件轴向一致的缺陷;当开合式闭路磁轭的初级激励线圈通入纵向磁化电流时,在次级绕组(大齿圈工件)上产生沿圆周方向上的感应电流,该感应电流在工件上产生与工件轴向一致的磁力线(纵向磁场),可发现与工件圆周方向一致的缺陷;当开合式矩形线圈与开合式闭路磁轭的初级激励线圈同时通相位差 120° 的交流电时,产生的纵向磁场与周向磁场在时间相位上错开一定角度,形成交变磁场叠加于大齿

圈工件上,其矢量在工件表面形成转速和电流同步,峰值轨迹与幅值相关的椭圆形旋转磁场,对工件进行复合磁化,该磁场可检测工件表面任意方向的缺陷。

由于矩形线圈均匀地围绕在单边齿圈的外侧,因而形成的周向磁场分布均匀,从而消除了传统的穿棒法磁化大型环形工件时磁场分布内强外弱的现象;纵向磁化采用复合式闭路磁轭,巧妙地将大齿圈工件作为闭路磁轭的次级绕组,可对工件进行整体磁化,因此形成的纵向磁场分布均匀,既克服了线圈法磁化时,工件两端呈磁极,产生退磁场,而工件内孔不能磁化,存在盲区的缺点,又克服了极间磁轭法不能对工件整体进行磁化的缺点。

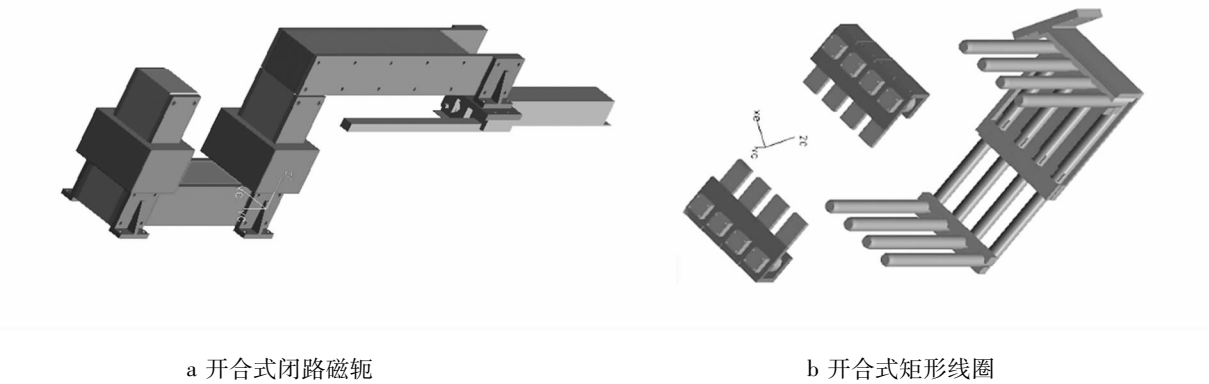


图1 新型磁化装置结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the structure of a new type of magnetic device

2 磁粉探伤控制系统

磁粉探伤控制系统将时序控制、数据采集、磁化电流控制有机结合,其电路框图如图2所示,流程图如图3所示。系统硬件主要由 PLC 和触摸屏、电流采集电路、晶闸管及其触发电路、继电器等组成;软件设计由工作时序控制和磁化电流控制两部分组成,其中工作时序控制是为了满足检测工艺中工作方式设定、磁化电流和磁化时间的设定等,磁化电流控制采用模糊—PID 控制算法。当设定好磁化或退磁电流后,针对不同的待检工件,通过实时采集电流值,经过晶闸管触发电路,改变晶闸管的导通角,达到自动调整磁化电流的目的。

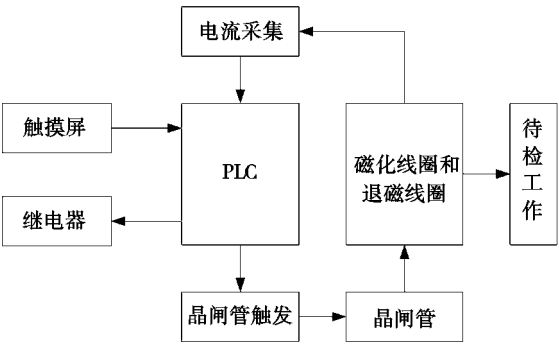


图2 磁粉探伤控制系统电路框图

Fig.2 Circuit diagram of magnetic particle inspection control system

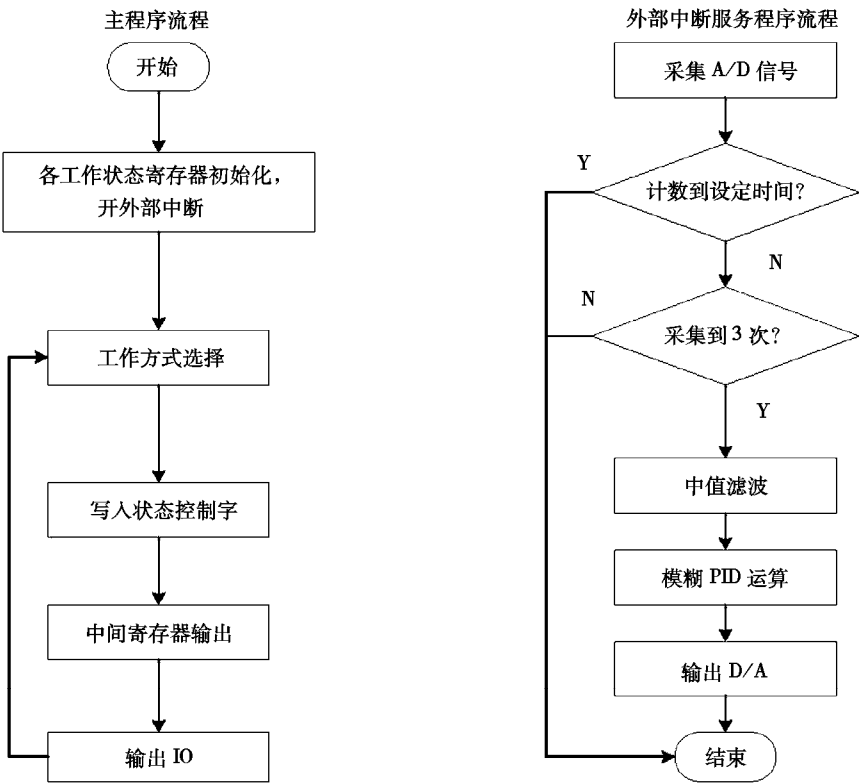


图 3 磁粉探伤控制系统软件流程图

Fig.3 Software flow chart of magnetic particle inspection control system

3 图像自动识别系统

基于大齿圈磁粉探伤的全帧 CCD 摄像机成像技术,进行图像数据库建立、磁粉图像识别和智能处理、微处理器控制线路设计和人机接口的操

作方式设计,使得产品智能化程度提高、产品性能稳定可靠,保证了诊断确诊率、漏诊率、误诊率等参数的实现。其中,图像采集和处理识别系统框图如图 4 所示。

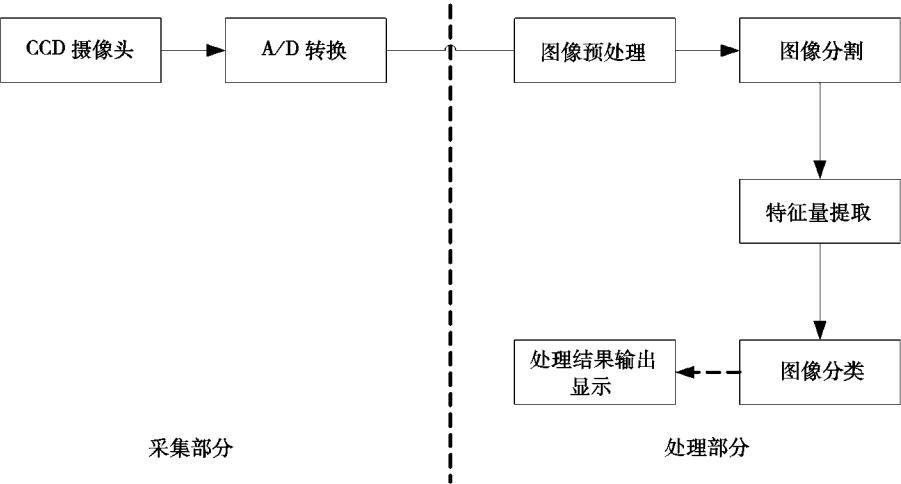


图 4 图像采集与处理原理框图

Fig.4 Schematic diagram of image acquisition and processing

图 4 中,首先将 CCD 摄像头传来的图像进行预处理,主要是图像的背景处理,目的是去除噪声干扰,尽可能地提高图像的信噪比;然后进行图像分割,提取缺陷伤点数据;最后根据缺陷图像的特征对缺陷图像进行识别分类,最终达到识别目标缺陷的目的。

4 智能磁粉探伤系统

智能磁粉探伤系统框图如图 5 所示,其工作原理如下:

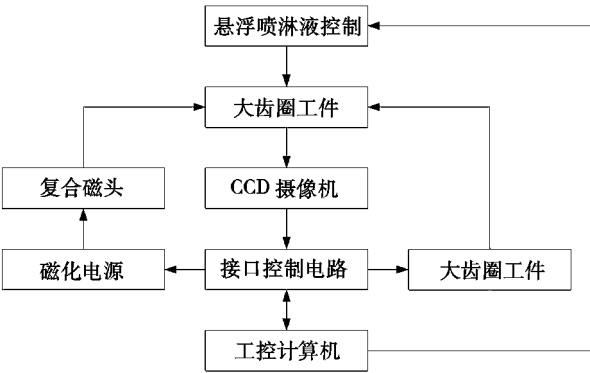


图 5 智能磁粉探伤系统框图

Fig. 5 block diagram of intelligent magnetic particle inspection

当被检测工件上料后,自动运行磁化时,一次操作即可完成磁轭及线圈移动闭合、线圈啮合锁紧、工件转动、喷洒磁悬液、充磁、转动观察、退磁等完整的工序,实现对大齿圈工件的复合磁化;大齿圈磁化后,磁力线在有表面缺陷的部位发生变化,部分磁力线逸出,在缺陷处形成磁极,产生漏磁场;在工件表面喷洒荧光磁粉悬液后,磁粉被吸附在漏磁场处形成磁痕,在紫外光照射下,荧光磁粉受激发射出荧光;用高像素全帧 CCD 摄像机对荧光进行摄像,并将荧光磁粉图像转换为视频电子信号,再通过信号采集卡将视频信号转换为计算机能处理的数字图像信号,从而完成基于数字图像的采集分析和处理技术,对工件表面缺陷生成的磁痕进行自动检测。

5 样机检测及结论

通过样机试用,设计的新型磁化装置可对内、外直径和长度在 1 000/1 400/170 mm 以上的大齿圈工件进行损伤检测,实现了对大齿圈工件全方位的磁粉探伤。测试条件如下:

周向磁化:交流 0 ~ 4 000 A,连续可调(磁化安匝为 12 000 AN);

纵向磁化:交流 0 ~ 250 A,连续可调。

测试结果:7/50 A1 型试片工件被检部位显示清晰;工件表面磁场强度 $\geq 4\,500\text{ A/m}$,最不利磁场生成的部位切向磁场强度 $\geq 3\,200\text{ A/m}$;退磁效果 $\leq 0.2\text{ mT}$ 。

参考文献:

[1] LUO J L, TIAN Z W, YANG J T. Fluorescent magnetic particle inspection device based on digital image processing[C]// Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 29-July 4, 2014, Shenyang. IEEE, 2015. DOI:10.1109/WCICA.2014.7053688.

[2] WONG B S, LOW Y G, WANG X, et al. 3D finite element simulation of magnetic particle inspection[C]//2010 IEEE conference on sustainable utilization and development in engineering and technology, Nov 20-21. 2010, Petaling Jaya, Malaysia. IEEE, 2011. DOI:10.1109/STUDENT.2010.5687008.

[3] GOULD L S. Programmable logic controllers TRANSFORMED[J]. Automotive design & production, 2006, 118(7):56-58.

[4] 盐城东车科技有限公司. 一种大齿圈工件磁粉探伤机的磁化装置:CN201310112174.2[P]. 2013-07-17[2015-06-10].

[5] 茅红霞. 基于 PLC 控制的磁粉探伤机系统的设计[D]. 南京:南京理工大学, 2011.

Research on Design and Intelligent Control of New Magnetizer for Magnetic Particle Flaw Detector

LI Jiarong¹, ZHANG Zirui²

(1. School of Electrical Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu 224051, China;
2. Institute of National Defense, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: In view of the situation that a large number of large gear ring workpieces in railway and wind power industry can not be magnetized simultaneously in circumference and radial direction due to their large size, and the flaw detection rate of the workpiece is limited and affected, a new magnetization device suitable for large gear ring workpieces is designed. The device is based on the magnetic particle flaw detection control system and the image automatic recognition system of the PLC. The structure of open-closed loop yoke and open-closed rectangular coil is adopted in the device. During the magnetization detection, the open-closed loop yoke and the open-closed rectangular coil are wrapped around the single-side ring gear of the large ring gear workpiece, so that the large ring gear simultaneously generates multi-directional magnetic fields in the same direction, radial direction and axial direction. Under the action of magnetic field, the surface of workpiece sprayed with fluorescent magnetic powder suspension is adsorbed at the leakage magnetic field to form magnetic trace, and fluorescent magnetic powder emits fluorescence under ultraviolet light. The fluorescence is captured by high-pixel full-frame CCD camera, and the image of fluorescent magnetic powder is converted into video electronic signal. Then the video signal is converted into digital image signal which can be processed by computer through signal acquisition card, so that the automatic detection of magnetic mark generated by workpiece surface defects can be completed. The test results of the intelligent magnetic particle testing prototype show that the new magnetization device can realize omni-directional and multi-directional magnetization of the circumferential, radial and axial direction of the large gear ring workpiece at the same time, and the workpiece has no magnetic blind area and high detection accuracy.

Keywords: large ring gear; magnetizing device; magnetic particle inspection

(责任编辑:李华云)

我校举办首届大数据驱动智能制造国际学术会议

2018年12月9日,在盐城工学院希望大道校区,我校与英国格林威治大学联合举办了首届大数据驱动智能制造国际学术会议。国家“千人计划”特聘专家夏志杰教授、江苏大学刘国海教授等国内外专家学者出席。

本次大会交流了我国工业大数据相关技术的最新理论,探讨工业大数据技术发展方向和趋势,寻求实现智能制造的一些新方法、新思路。会上,格林威治大学 Mohammed El Souri 博士作题为《Improving Product Design through Structuring & Managing Complex Data in Aerospace Manufacturing》、Ahmad Taha 博士作题为《Investigating the Impact of Human Occupancy on Energy Consumption in Medway NHS Foundation Trust: A Thermal Imaging People Counting System》的学术报告。夏志杰教授与刘国海教授分别作题为《Industry Big Data and Intelligent Manufacturing》和《Fault tolerant control of permanent magnet motor and its application》的学术报告。专家学者与参会师生围绕报告主题展开互动,进行了深入而广泛的讨论交流。

(供稿:阚加荣)